

ONTOLOGY FOR HOLONIC MANUFACTURING SYSTEMS BASED ON PRODUCTION UNIT

ONTOLOGÍA PARA LOS SISTEMAS HOLÓNICOS DE MANUFACTURA BASADOS EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN

MSc(c). Diego Checa Rojas, PhD(c). Oscar Rojas Alvarado

Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.
Grupo de Automática Industrial.
Calle 5 # 4-81, Popayán, Cauca, Colombia, Tel.: (+572) - 820 9800.
E-mail: {dcheca, orojas}@unicauca.edu.co.

Abstract: The paper describes the process by which an application ontology for holonic manufacturing systems based on production unit was created using Methontology. The phase Formalizing ontology is realized by UML class diagrams and It is the result of work that will define a knowledge base for the domain conceptualized.

Keywords: Manufacturing holonic systems, unit production, ontology, methontology, HMS-UP.

Resumen: El artículo describe el proceso mediante el cual se creó una ontología de aplicación para los sistemas holónicos de manufactura basados en la unidad de producción, usando la metodología Methontology para su diseño. La fase de Formalización de la ontología es realizada mediante diagramas de clase UML. Este último constituye el resultado del trabajo que permitirá definir una base de conocimiento para el dominio conceptualizado.

Palabras clave: Sistemas holónicos de manufactura, unidad de producción, ontología, methontology, HMS-UP.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de integración empresarial, se muestran como una de las soluciones para resolver las necesidades actuales en los sistemas de producción, como son la eficiencia, flexibilidad y el manejo de una alta complejidad. Los sistemas holónicos y los multiagentes han ganado terreno en éste aspecto, ya que permiten disponer de elementos inteligentes, especializados en sectores o funciones puntuales dentro del proceso productivo, además de poseer capacidades de comunicación y colaboración entre sí para lograr un objetivo común. En el campo de los sistemas holónicos, específicamente los basados en la unidad de producción, se han realizado diferentes aportes

teóricos importantes para su desarrollo, sin embargo, se considera que es necesario realizar una unificación del conocimiento para que los futuros esfuerzos compartan una base teórica. Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente artículo se analiza el estado actual de los sistemas holónicos basados en la unidad de producción o HMS-UP, para proponer una ontología de aplicación que defina, de manera clara y precisa, cada uno de los términos, conceptos y relaciones necesarias para integrar una empresa desde el enfoque holónico.

El presente documento describe, en el capítulo 2, los conceptos sobre ontologías y los sistemas holónicos de manufactura. En el capítulo 3, se especifica el proceso de diseño de la ontología

usando la metodología Methontolgy. En el capítulo 4, se muestran los resultados a través de diagramas de clase, fase que corresponde a la Formalización de la ontología. Finalmente, en el capítulo 5, se realizan las conclusiones del trabajo.

2. MARCO TEÓRICO

El trabajo desarrollado tiene dos conceptos principales que deben ser expuestos para su correcta comprensión. Estos son los sistemas holónicos de manufactura basados en la unidad de producción y las ontologías.

2.1 Los sistemas holónicos de manufactura basados en la unidad de producción

Los sistemas holónicos de manufactura, son un paradigma relativamente nuevo que permite afrontar la gran complejidad que posee los procesos de producción actuales. El concepto principal de estos sistemas, el “Holón”, fue creado por el científico Arthur Koestler al realizar observaciones a los grupos vivos, a sus organizaciones internas y a sus interacciones sociales. Holón es una entidad autónoma que posee la capacidad de colaborar con otros holones para lograr un objetivo común. El término Holón significa “Todo y parte a la vez”. Esta descripción define que un holón puede estar conformado por un grupo de holones internamente (Todo), así como éste puede ser parte de un conjunto más grande. Un grupo de holones que interactúan entre sí conforman una Holarquía, la cual es una estructura jerárquica que se construye y modifica dependiendo de los objetivos a alcanzar (Rojas y Chacón, 2011; Christensen, 1994; Fletcher, 2003).

Los Sistemas Holónicos de Manufactura basados en la Unidad de Producción, han sido desarrollados por el grupo de investigación de la Universidad de los Andes (Chacón *et al.*, 2009) como propuesta para alcanzar un nivel de integración más alto, comparado con las aproximaciones de arquitecturas anteriores. La particularidad de HMS-UP es que no contiene varios tipos de holones por cada área a cubrir en el proceso, por el contrario, define un solo tipo de holón (UP - Unidad de Producción) que contiene las características y las funciones necesarias para conformar un proceso integrado. El cambio de concepto frente a arquitecturas holónicas como ADACOR y PROSA, se debe a que HMS-UP se basa en el concepto de “cadena de valor”, la cual está más relacionada con el proceso y no con las funciones que se deben realizar para soportar un sistema flexible.

La cadena de valor es la secuencia de etapas del proceso por las cuales atraviesa la materia prima para transformarse en un producto final. Cada una de las etapas realiza diferentes operaciones en la materia y entrega el resultado a su sucesora, dependiendo de la configuración del proceso.

El concepto de la cadena de valor es uno de los pilares para HMS-UP, ya que permite identificar las operaciones similares sobre la materia y luego agruparlas en etapas, constituyendo el primer acercamiento hacia la integración del proceso.

2.1.1 Unidad de producción

La unidad de producción es un holón, una entidad autónoma y autocontrolada que puede colaborar con otras unidades para lograr un objetivo común. Dicha entidad posee, de manera general, dos funciones importantes, las cuales son representadas en la figura 1.

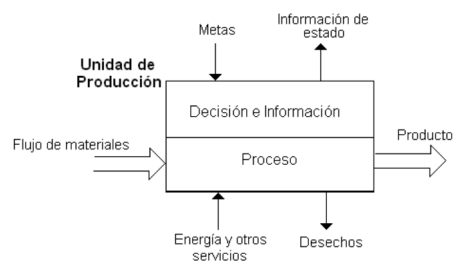


Fig. 1. Unidad de producción en bloques funcionales. (Rojas y Chacón, 2011).

La UP está compuesta por el bloque de “Decisión e información” y el de “Proceso”.

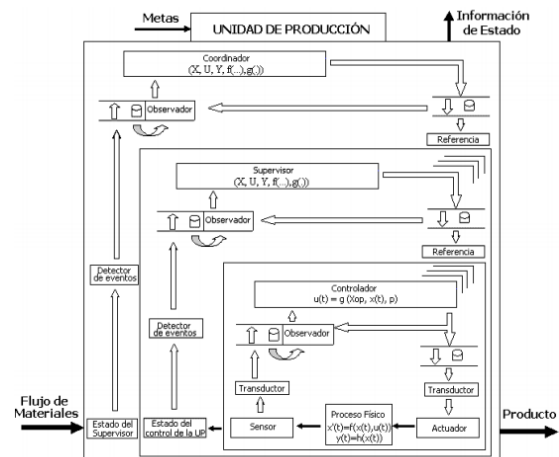
El primero de ellos se encarga de la toma de decisiones, procesamiento de las órdenes de producción, el seguimiento de la meta, lectura y generación del estado de la UP y la negociación de las órdenes con el coordinador de la holarquía.

El bloque proceso se encarga del control y supervisión de los recursos físicos asociados a la unidad de producción, con el fin de asegurar que los parámetros, que entrega el método de producción, sean correctamente establecidos

2.1.2 Modelo de actividades

Para asegurar un correcto desempeño en la unidad de producción se han definido seis Actividades. Éstas pueden ser divididas en dos tipos, las operativas y las administrativas. Las primeras, se encargan del control y supervisión del funcionamiento de la UP. La segunda registra y genera información valiosa para el desempeño de la unidad.

La última actividad administrativa se denomina **Planeación y programación de la producción**, la cual conforma un conjunto de acciones encargadas de analizar las órdenes de producción, descomponer dichas órdenes en una secuencia de operaciones de producción y ordenar las solicitudes para el cumplimiento de las metas.



Una ontología, además de establecer términos comunes y mejorar la comunicación (Guzman *et al.*, 2012), también permite transmitir conocimiento

por medio de la creación de relaciones, reglas y axiomas (Guarino y Giaretta, 1996; Corcho *et al.*, 2002; Al-Qasem, 1995).

En la actualidad existen diferentes metodologías o guías que establecen las fases por las cuales atraviesa una ontología, para áreas tan diversas como automatización o los peces del catatumbo (Velásquez *et al.*, 2012). Cada una de ellas contiene especificaciones y consideraciones que transforman el documento de requisitos iniciales en una ontología coherente y formalizada. La transición por cada fase en que se puede encontrar una ontología durante su proceso de construcción se denomina “Ciclo de vida de la ontología”.

A continuación se describen de manera general cada una de las fases del ciclo de vida (Mariano *et al.*, 1997):

Especificación: Fase en la que se determina la necesidad, el tipo de formalidad, los tipos de usuarios finales y la forma de representación en lenguaje formal o informal.

Conceptualización: Durante esta fase se realizan descripciones, tabulaciones y gráficas, si es necesario, para representar de manera conceptual el conocimiento del dominio.

Formalización: Fase en la cual se usa una herramienta de descripción o un *framework* para la especificación de la ontología en términos semicomputables.

Implementación: Uso de diferentes lenguajes formales de implementación de ontologías para crear un versión computable de la misma.

Evaluación: Comprobación de que los conceptos y sus relaciones son coherentes en toda la ontología.

2.4.1 Methontology

Methontology, es una metodología creada por el Grupo de Ingeniería Ontológica de la Universidad Politécnica de Madrid para la creación de ontologías. Las bases de dicha metodología son actividades del desarrollo de software propuesto por la organización IEEE y algunas otras metodologías de conocimientos (Corcho *et al.*, 2002). El objetivo de la metodología es permitir crear una ontología desde unos pocos requisitos iniciales, iniciando desde lo más general hasta lo más específico. (Corcho *et al.*, 2002; Mariano *et al.*, 1997).

Methontology facilita la descripción del dominio a través de la búsqueda de **conceptos** importantes dentro del dominio de interés. Cada concepto describe un comportamiento o un tipo de actor que tiene influencia sobre el modelo que será conceptualizado. Cada concepto posee **relaciones** con otros. Éstas sirven para definir los flujos de información y la dinámica dentro del área de conocimiento, la cual debe tener restricciones o **reglas** para mantener bajo control las acciones que ocurren en el sistema. Así también, existen los **axiomas**, que son un conjunto de predicados que siempre se cumplen, o se deben cumplir, en el dominio especificado. En la mayoría de los casos los axiomas son la base del conocimiento.

Las ontologías pueden ser implementadas en diferentes lenguajes especiales o, incluso, con lenguajes orientado a objetos. Así, si la ontología será desarrollada en términos computables se hace necesario definir las instancias, los atributos y las constantes dentro del dominio a modelar.

La creación de una ontología es un paso importante dentro de un dominio o área del conocimiento. Es parte del inicio de la estandarización de conceptos, de unificar los esfuerzos en los avances sobre la teoría, además de facilitar el aprendizaje y comunicación de los actores involucrados en el sistema conceptualizado.

3. DISEÑO

El proceso de construcción debe iniciar con la especificación de la ontología. Para este caso se indicó que será una Ontología de aplicación, es decir con un nivel de cobertura para un área particular de un dominio. El propósito de ésta, es describir la dinámica en el dominio, facilitando la rápida comprensión del modelo por los actores.

La segunda parte se denomina “Conceptualización”. Para esta fase, la metodología define una secuencia de tareas para su ejecución en un orden específico. Sin embargo, Methontology está considerado para ser un proceso iterativo e incremental, brindando la posibilidad que la ontología pueda ser corregida, ampliada o actualizada según sea necesario.

La primera tarea por realizar es la **Definición de términos**. Aquí se analiza la teoría encontrada en la literatura en busca de los conceptos más importantes dentro del dominio de interés. Cada término debe ser definido y cuidadosamente

agregado en la lista, evitando las incoherencias con las definiciones de otros conceptos.

Para el caso actual se encontraron 57 conceptos importantes, a consideración del diseñador, que son necesarios para describir el dominio. Algunos de estos son: Actor, Actividad, Asignar, Autosimilaridad, Cadena de valor, Controlar, Coordinar, Supervisar, Estado, Etapa y Unidad de producción.

La segunda tarea, **Relaciones Taxonómicas**, describe las relaciones de herencia o tipo que tienen algunos conceptos. Estas relaciones se clasifican en 4 tipos: Subclase, disjunta, disjunta exhaustiva y partición. De la selección apropiada de estas relaciones se encuentran los primeros pasos en la inferencia de conocimiento. En la figura 3 se muestra la relación taxonómica entre el término Recurso, como concepto padre, y los conceptos materia prima, equipo, recursos humanos y servicios. De esta manera, la referencia a los términos materia prima o equipo estará implícitamente relacionada con el término Recurso.

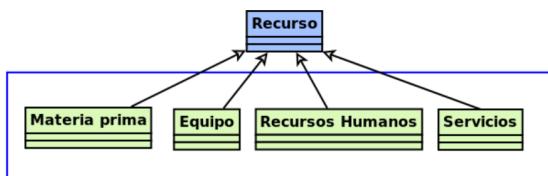


Fig. 3. Relación taxonómica clase Recurso

Los vínculos entre los conceptos, sean del mismo grupo taxonómico o no, se describen en la tarea 3, **Relaciones Binarias**. Esta tarea es donde se representa que el término X *contiene al* término Y o el término Z es *generado por* el término W.

Cada relación tiene poseer otra en sentido contrario, a ésta se le denomina relación inversa. Así, en el ejemplo anterior, la relación inversa es el término Y *es contenido por* el término X. Las relaciones inversas son necesarias para dar consistencia a la ontología. En lo posible, cada concepto debe tener al menos una relación binaria para que éste pueda ser incluido dentro de la dinámica del proceso. En la tabla 1 se muestra un ejemplo de la definición de las relaciones binarias.

En esta tarea se efectuó un cambio frente a la guía ofrecida por methontology, ya que a la relación binaria se le agregó una descripción, adelantando las acciones a realizar de la tarea 5.

Tabla 1. Ejemplo de las relaciones binarias

Relación	Concepto Origen	Concepto Destino	Relación Inversa
Contiene	Unidad de producción	Método de producción	Es contenido por
Una UP contiene uno o más métodos de producción que especifican las formas de crear productos.			

En la tarea 4, **Diccionario de términos**, se realiza un resumen de la información encontrada en las tareas anteriores. A través de una tabla, se muestra cada uno de los conceptos, su concepto padre, relaciones encontradas con otros (directas e inversas) y sus atributos. Estos últimos se dividen en atributos de clase y de instancia.

Los atributos de clase son característica de muy alto nivel, como el atributo tipo de rol para un actor. Los atributos de instancia son más específicos como Nombre, Capacidad, id, Disponibilidad. En la tabla 2 se muestra la información agregada en el diccionario para el concepto Unidad de producción.

Tabla 2. Unidad de producción en el diccionario de términos.

Nombre de concepto	Unidad de producción
Instancias	--
Atributos de clase	Estado
Atributos de instancia	Capacidad Disponibilidad
Relaciones	Contiene Produce Realiza Posee Debe enviar compone

Además de las tareas desarrolladas, existen otras que permiten lograr un mayor detalle en la ontología como las descripciones de relaciones, atributos y clases. Éstas están ligadas con la implementación de la ontología por lo que no se desarrollaron en este trabajo.

Finalmente, se describen las reglas que siempre se cumplen en el dominio, definición realizada en la tarea 11 **Axiomas**. Algunos de los axiomas encontrados son:

- Todo holón debe tener un recurso asociado
- Para cada producto, existe al menos un método de producción.
- Una holarquía se compone de dos o más holones.

Entre más axiomas existan en la ontología, mayor base de conocimiento se obtendrá, pero también mayores restricciones para los avances posteriores de la ontología.

El seguimiento de la metodología entrega una ontología detallada en su parte conceptual, pero aún falta representar el conocimiento en un formato que sea reconocido universalmente, es decir que sea formalizado. Esta tarea es resuelta en la siguiente sección.

4. RESULTADOS

La formalización de una ontología es la fase donde se representa la conceptualización a través de un formato universal, comprensible por la comunidad en general. La herramienta de modelado seleccionada fue UML, debido a su gran uso y la descripción de relaciones entre actores y entidades de manera gráfica.

El proceso se inició con el análisis de las relaciones binarias obtenidas en la fase de conceptualización. La agrupación de estas relaciones permite conformar “vistas” de los diferentes flujos de información que maneja una UP, de acuerdo a la teoría encontrada en la literatura sobre HMS-UP.

4.1 Modelo operativo

El primer flujo representado es el que describe cómo la unidad de producción funciona en relación con los componentes físicos de la planta y la transformación de la materia prima.

En la figura 4 se muestran las relaciones que asocian a la unidad de producción con un proceso. Cada uno contiene una serie de operaciones, agrupadas en etapas, las cuales son las acciones ejercidas por los equipos sobre la materia prima. La secuencia y forma de ejecución de dichas operaciones esta descrita por un método de producción. Éste se divide, virtualmente, en métodos parciales facilitando el trabajo de configurar los equipos de producción de acuerdo a un conjunto de instrucciones más puntuales.

En las relaciones binarias se encuentra que una unidad de producción tiene asociado un recurso físico, sin embargo a través de las relaciones taxonómicas de la ontología, se puede inferir que los recursos pueden ser la materia prima, equipos o recursos humanos. De esta manera, la unidad de producción divide el proceso a su cargo y define

una forma de llevar a cabo la configuración de los equipos para lograr producción.

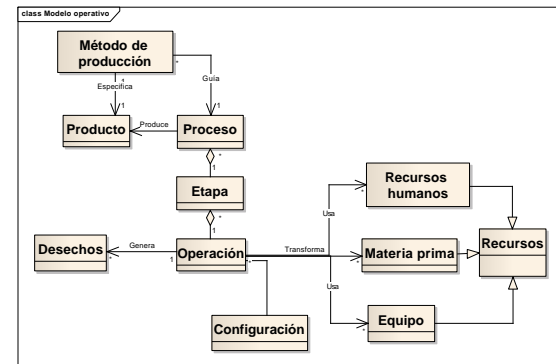


Fig. 4. Modelo operativo de la UP

4.2 Negociación

La negociación es el centro para establecer la autonomía dentro de la unidad de producción. Existe una UP que realiza el rol de coordinador por medio de la actividad de Coordinación. En la figura 5, una orden de producción llega a la holarquía, el coordinador captura la orden y a través de la actividad de Planeación y programación de la producción, divide la orden recibida en un conjunto de órdenes parciales que son enviadas a través de la red de la holarquía, en donde las UP verifican su competencia de la orden enviada y establecen, a través del estado, su disponibilidad y capacidad de producción. Si la UP posee las características necesarias, envía una contraoferta al coordinador. Se inicia entonces un proceso de negociación entre el coordinador y la unidad hasta llegar a un acuerdo o un rechazo por alguna de las partes. Cuando una orden de producción es aceptada se convierte en un meta para la Unidad.

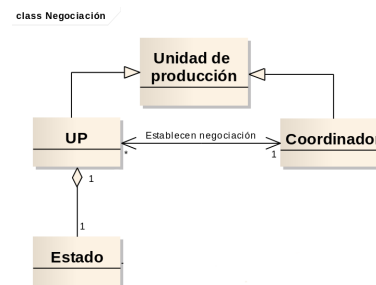


Fig. 5. Negociación

La negociación es el centro para establecer la autonomía dentro de la unidad de producción. Existe una UP que realiza el rol de coordinador por medio de la actividad de Coordinación. En la figura 5, una orden de producción llega a la holarquía, el coordinador captura la orden y a través de la actividad de Planeación y programación de la

producción, divide la orden recibida en un conjunto de órdenes parciales que son enviadas a través de la red de la holarquía, en donde las UP verifican su competencia de la orden enviada y establecen, a través del estado, su disponibilidad y capacidad de producción. Si la UP posee las características necesarias, envía una contraoferta al coordinador. Se inicia entonces un proceso de negociación entre el coordinador y la unidad hasta llegar a un acuerdo o un rechazo por alguna de las partes. Cuando una orden de producción es aceptada se convierte en un meta para la Unidad.

Este flujo representa como las unidades de producción negocian entre sí, a través de un coordinador, para alcanzar un objetivo común.

4.3 Actividades

En la figura 6 se muestran las actividades administrativas en la unidad de producción. La actividad de Administración del Método de producción es la actividad que gestiona los métodos de producción de acuerdo al tipo de producto que se desea producir. Cada unidad debe estar en la capacidad de crear u obtener las partes del método de producción que están relacionadas con sus recursos asignados.

La actividad de planeación y programación está en la capacidad de gestionar las órdenes de producción que llegan a la unidad. En la descripción de la negociación se mencionó que, a través de ésta actividad, un coordinador puede generar órdenes parciales que serán enviadas a la holarquía para su ejecución de manera colaborativa. Es posible que la misma actividad establezca un nuevo orden en las metas de acuerdo a prioridades de producción establecidas o fallas del proceso que requieran una reprogramación.

Por otra parte la administración de la información de producción se encarga de registrar un histórico del funcionamiento de la unidad de producción que obtiene a través de la lectura constante del estado. Esta información es revisada y analizada posteriormente para determinar tiempos de trabajos reales, efectividad de operación y diferentes parámetros que pueden ser útiles para el mejoramiento del sistema integrado o calidad del producto. En este flujo se define como la UP administra la información que se genera en su ejecución, así como la unidad administra la información relacionada con la forma en la cual debe transformar la materia prima.

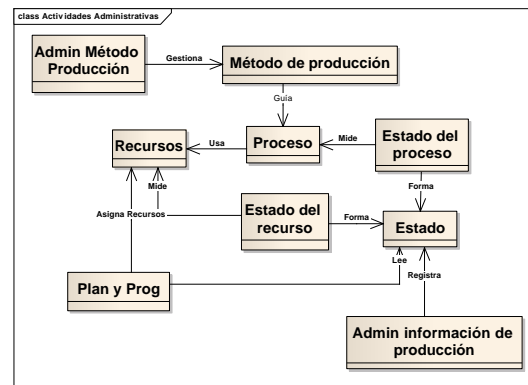


Fig. 6. Actividades administrativas

4.4 Reactividad

Otro concepto interesante de la unidad de producción es la reactividad y puede ser inferido a través de las relaciones y conceptos consignados en la ontología. La reactividad se considera la capacidad de reacción de la unidad de producción ante los eventos, internos o externos, que afectan su funcionamiento.

La figura 7 muestra la relación de conceptos que define el comportamiento de la UP frente a los eventos. La estructura corresponde con tres niveles, cada uno relacionado con una actividad operativa: control, supervisión y coordinación.

La acción de control se desarrolla directamente sobre el proceso físico, ejerciendo el control por medio de un sistema de lazo cerrado usando los sensores y actuadores asociados a la UP. La lectura de las variables, los algoritmos de control y las señales de referencia se contemplan en este primer nivel de control.

De igual manera, es necesario establecer el control sobre la secuencia de ejecución de las operaciones. Este control es realizado por la UP mediante la actividad de supervisión. En este nivel se define la siguiente acción a ejecutar según un evento presentado, como puede ser el término de una operación, falta de recursos para continuar, etc. La UP debe tener un modelo de eventos discretos, el cual permite definir el siguiente estado ante las diferentes circunstancias que puede ocurrir en la unidad. El control ideal es tener una respuesta ante cualquier evento que pueda afectar el proceso. De esta forma, se define que una unidad de producción tiene la capacidad de "reaccionar" ante los diferentes eventos que puedan surgir en una unidad de producción, tanto a nivel de máquinas o variables, a nivel de etapas o, incluso, de ciclos completos de producción.

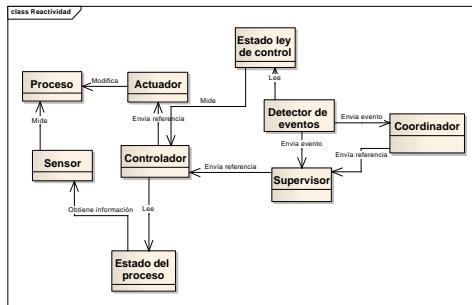


Fig. 7. Reactividad

La suma de los flujos establecidos permite representar a un sistema integrado. Existe una división del proceso y un control adecuado sobre cada una de sus partes. Tanto a nivel continuo o discreto es posible controlar los niveles de referencia y la secuencia en los estados de la UP, respectivamente. La negociación describe la forma como una gran cantidad de unidades pueden trabajar en conjunto y lograr un objetivo común. Y finalmente, la UP puede aprender y optimizar su proceso a través del registro y análisis de la información que genera su proceso de producción.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de una ontología es una oportunidad de analizar los avances teóricos sobre un área y establecer las bases del conocimiento de investigaciones posteriores. Además, se pudo comprobar que la búsqueda de precisión en la conceptualización hizo necesaria la definición de algunos términos no considerados inicialmente, así como relaciones necesarias para poder describir el flujo de la unidad de producción.

El conjunto de flujos extraídos de la conceptualización permite describir las bases de un sistema integrado usando HMS-UP. Este logro es muy importante, porque permite a los desarrolladores de sistemas integrados que consideren a HMS-UP como una alternativa viable. La construcción de una ontología es un trabajo que no debe concluir, debe ser un punto de partida para definir las bases de un dominio, permitiendo la inclusión de nuevos conceptos según el criterio de la comunidad científica. Este último representa la gran importancia de una ontología para un dominio.

REFERENCIAS

- Al-Qasem M., (1995) *The State of the Arts in the Ontologies for Legacy Systems*. DAKE Centre Keele University.
- Chacón, E., (2002) *A way to implement a supervisor in holonic production*. 15th Triennial World Congress. España.
- Chacón, E.; Bembel, I.; Rivero, D. and Cardillo, J. (2009) *Embedded holonics systems in production process: holonic unit of production*. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Vol. 32, Universidad del Zulia. Venezuela.
- Christensen, J. (1994) *Holonic manufacturing systems: initial architecture and standards directions*. First European Conference on Holonic Manufacturing Systems, Alemania.
- Corcho, O., Fernandez L., M. and Gomez P., A. (2002). *Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?* Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Fletcher, M. (2003). *Holonic Manufacturing Systems some Escenarios and issues*. Agent Oriented Software Ltd.
- Gruber, T. (1993). *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*. Stanford Knowledge Systems Laboratory.
- Guarino, N. and Giaretta, P. (1996). *Ontologies and Knowledge Bases, towards a Terminological Clarification*. National Research Council, LADSEB-CNR. Italia.
- Guzman, J.; Torres, D. y Martínez, A. (2012). *Un agente semántico para la gestión de información*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol 1, No. 19.
- Mariano, F.; Asunción, G. y Juristo, N. (1997). *Methontology: From ontological art towards ontological engineering*. AAAI Technical Report.
- Rojas, O. y Chacón, E. (2011). *Conceptos generales de procesos batch desde el enfoque de sistemas holónicos de manufactura*. Universidad de los Andes.
- Velásquez, T.; Puentes, A. y López, L. (2012). *Representación Ontológica de peces del Catatumbo*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol 1, No. 19.
- Zapata, G.; Cardillo, J. y Chacón, E. (2010). *Aportes Metodológicos para el Diseño de Sistemas de Supervisión de Procesos Continuos*. Información Tecnológica, Vol. 22, Chile.